УДК 664.848:621.1.013

А. Н. ОСТРИКОВ, Ю. В. СКЛАДЧИКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИПРАВ

Полученные данные по определению зависимостей коэффициентов внутреннего и внешнего трения от влажности белых кореньев пастернака, петрушки и сельдерея использованы при обосновании выбора рационального гидродинамического режима сушки, обеспечивающего равномерное перемешивание и минимальное истирание продукта и интенсификацию процесса сушки белых кореньев.
Ключевые слова: *коэффициент трения, влажность, белые коренья, гидродинамический режим, сушка.*

Введение. Поверхностные свойства – адгезионные и фрикционные – занимают особое место среди структурно-механических свойств пищевых продуктов. Коэффициенты внутреннего и внешнего трения являются одними из важнейших характеристик, определяющих физико-механические свойства белых кореньев пастернака петрушки и сельдерея. Знание этих коэффициентов позволяет организовать такой гидродинамический режим, обеспечивающий равномерное перемешивание и минимальное истирание продукта, и интенсифицировать процесс сушки белых кореньев.

Методы исследований. Целью работы является исследование коэффициентов внешнего и внутреннего трения для белых кореньев в зависимости от влажности продукта. В качестве объекта исследования использовали белые коренья пастернака, петрушки и сельдерея. Для проведения эксперимента были сформированы партии из 8-10 образцов. Пластинки белых кореньев имели ровную поверхность, одинаковую геометрическую форму и массу, не допускалось наличие трещин на поверхности продукта.

Установка для определения коэффициента внешнего трения пищевых продуктов (рис.1, 2) состоит из поворотного стола 1, на котором с помощью прижимных планок 2 крепится рабочая пластина 3, изготовленная из исследуемого фрикционного материала. На пластине располагают исследуемый пищевой продукт 4. Поворотный стол имеет возможность поворачиваться относительно горизонтальной плоскости на некоторый угол посредством рычажного механизма 5 и винта 6, снабженного штурвалом. Угол подъема поворотного стола определяют по угломеру 7. Элементы установки смонтированы на опорной раме 8 и плите 9.



Рис.1. Установка для определения коэффициента внешнего трения

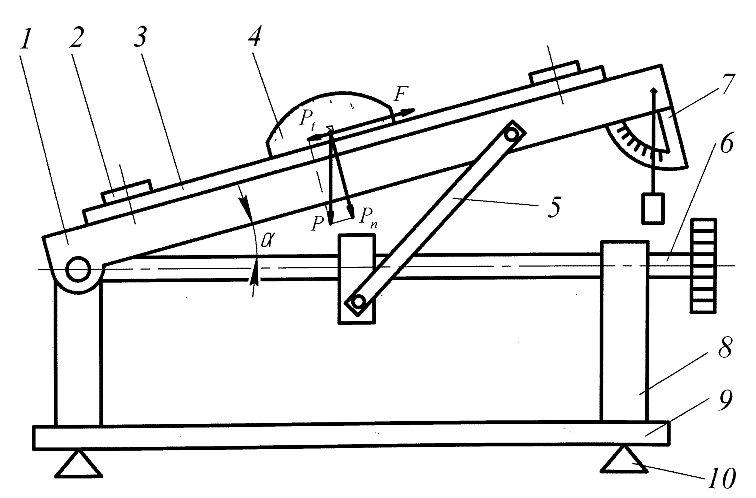


Рис.2. Схема установки для определения коэффициента внешнего трения: 1 – поворотный стол; 2 – прижимная планка; 3 – рабочая пластина; 4 – исследуемый продукт; 5 – рычажный механизм; 6 – винт; 7 – угломер; 8 – опорная рама; 9 – плита; 10 – установочный винт

Перед началом эксперимента установку устанавливают по уровню. Для этого плоский уровень устанавливают на плиту 9 (см.рис.2) параллельно каждой паре установочных винтов 10; регулировку производят этими винтами. Вращая штурвал винта 6, переводят поворотный стол в горизонтальное положение.

На поверхности поворотного стола располагают рабочую пластину, которую затем закрепляют прижимными планками. На рабочую пластину укладывают первый образец исследуемого пищевого продукта, отобранного из общей партии. Медленно вращая штурвал винта, посредством рычажного механизма, осуществляют подъем поворотного стола. В момент начала скольжения пищевого продукта по поверхности рабочей пластины подъем поворотного стола прекращают.

На поворотном столе, наклоненном под углом a к горизонту, находится продукт M с силой тяжести P (см.рис.2). Разложим силу P на две составляющие: P_n, перпендикулярную к поворотному столу, и P_t, параллельную ему. Составляющая P_t будет стремиться сдвинуть продукт M вниз по поворотному столу, а составляющая P_n будет прижимать продукт M, вызывая противоположные движению силы трения F, которые будут пропорциональны давлению.

Назовем угол a, составляемый полным давлением с нормалью к поворотному столу, т.е. угол, на который отклоняется полное давление, определяемый соотношением $tga=P_t/P_n$, углом отклонения. Далее будем увеличивать угол наклона поворотного стола. Тогда при некоторой величине угла наклона поворотного стола (назовем его a_{max}) силы трения будут превзойдены, и начнется скольжение тела по поворотному столу.

Составим уравнение равновесия всех сил, действующих на продукт M, для положения поворотного стола, весьма близкого к началу его движения.

Проектируя все силы на направление поворотного стола, имеем:

$$P\sin\alpha_{\max} - Pf_{внеш}\cos\alpha_{\max} = 0, \qquad (1)$$

где $f_{внеш}$ – коэффициент внешнего трения.

Получаем

$$f_{внеш} \approx tg\,\alpha_{\max}, \qquad (2)$$

т.е. коэффициент трения равен тангенсу максимального угла наклона поворотного стола в момент начала скольжения. Назовем этот угол углом трения φ. Таким образом, имеем $f_{внеш} \approx tg\,\alpha_{\max} = tg\,\varphi$.

Экспериментальные исследования влияния влажности на коэффициент внутреннего трения проводили на приборе (рис.3), схема которого представлена на рис.4.

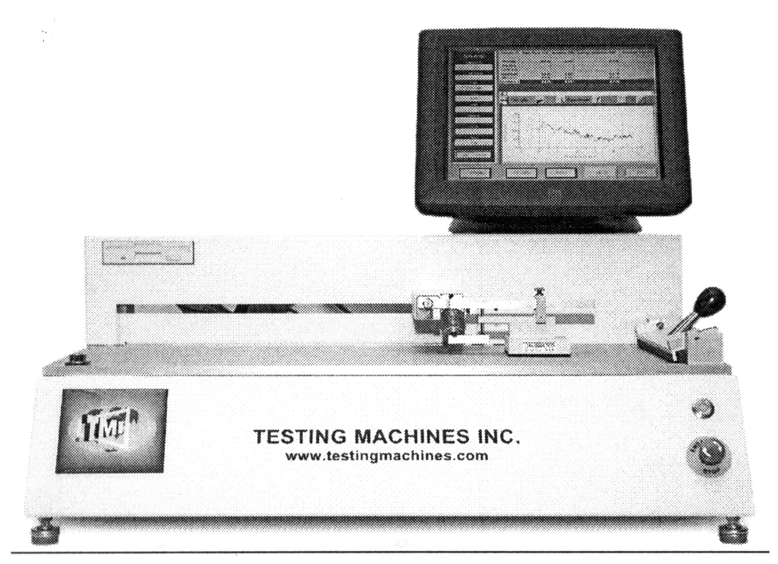


Рис.3. Установка для определения коэффициента внутреннего трения

Рис.4. Схема установки для определения коэффициента внутреннего трения:
1 – лоток; 2 – сыпучий продукт; 3 – ящик; 4 – пластины;
5 – блок; 6 – нить;7 – чаша для гирь

Установка представляет собой тележку 2, на которую крепится сдвиговая ячейка 1. На ячейку устанавливается матрица 3 с навеской сыпучего продукта так, чтобы она могла скользить вдоль сдвиговой ячейки. Динамометр 4 крепят в горизонтальном направлении за опору с одной стороны, а с другой – за матрицу 3 с определенной навеской продукта. При установившемся движении тележки фиксируют показания динамометра.

Сначала определяют сопротивление движению пустого ящика по направляющим *а-а* по массе гирь, установленных на чашу, при котором ящик будет выведен из состояния покоя. Затем насыпают исследуемые коренья в лоток 1 до уровня направляющих *а-а* и выравнивают его поверхность. Установив ящик в исходное положение, насыпают в него продукт слоем h. На продукт кладут пластины 4 с известной массой и на чашку добавляют гири до тех пор, пока ящик не начнет медленно двигаться. Горизонтальная сила, приложенная в плоскости движения (плоскость соприкосновения продукта в лотке 1 и ящике 3), преодолевает силу трения, появившуюся в той же плоскости от массы продукта высотой *h* в ящике и массы *ΣG* пластин 4.

Нормальные напряжения скольжения определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{\Sigma G}{\Omega} + h\gamma, \tag{3}$$

где ΣG – масса грузовых пластин, кг; Ω – площадь сечения ящика, см²; h – высота слоя продукта в ящике между пластинами и плоскостью скольжения, см; γ – насыпная (объемная) масса продукта, кг/см³ (определяется по количеству продукта в данном объеме ящика).

Предельные горизонтальные (касательные) напряжения сдвига (кг/см²) будут определяться по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta G \cdot (1 - \sqrt{2}\, W_{бл})}{\Omega}, \tag{4}$$

где ΔG – масса гирь на чаше за вычетом массы гирь при перемещении пустого ящика, кг; $W_{бл}$ – коэффициент сопротивления блока, при значительном диаметре блока (150-200 мм) и тонком шнуре можно принять равным нулю.

Величина коэффициента внутреннего трения исследуемого сыпучего продукта в покое определяем следующим образом:

$$f_{внутр} \approx tg\,\varphi = \frac{\tau}{\sigma}. \tag{5}$$

Коэффициенты внутреннего и внешнего трения для каждого образца определяют по нижеприведенной формуле. По результатам нескольких повторных опытов рассчитывали среднее арифметическое значение каждого коэффициента (см. таблицу):

$$\bar{f} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_i, \tag{6}$$

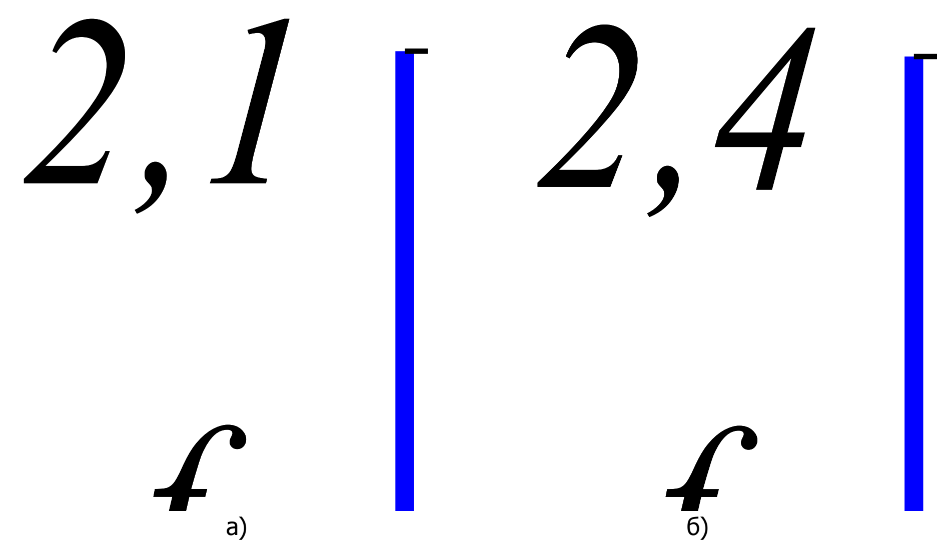
где i – порядковый номер опыта (образца); n – количество опытов (образцов).

Коэффициенты внешнего и внутреннего трения белых кореньев

пастернака, петрушки и сельдерея

Влажность, %	Пастернак		Петрушка		Сельдерей	
	$f_{ср\ внеш}$	$f_{ср\ внутр}$	$f_{ср\ внеш}$	$f_{ср\ внутр}$	$f_{ср\ внеш}$	$f_{ср\ внутр}$
90	1,968	1,789	2,259	1,971	1,997	1,882
85	1,945	1,702	2,227	1,956	1,984	1,854
80	1,856	1,684	2,196	1,851	1,878	1,802
75	1,789	1,548	2,087	1,856	1,845	1,798
70	1,733	1,496	1,987	1,766	1,786	1,654
65	1,670	1,421	1,905	1,686	1,729	1,589
60	1,607	1,373	1,887	1,646	1,673	1,541
55	1,545	1,273	1,843	1,576	1,617	1,465
50	1,482	1,214	1,742	1,516	1,561	1,456
45	1,419	1,125	1,698	1,475	1,505	1,389
40	1,356	1,065	1,662	1,383	1,448	1,374
35	1,294	0,977	1,589	1,338	1,392	1,279
30	1,231	0,927	1,497	1,261	1,336	1,223
25	1,168	0,828	1,401	1,225	1,280	1,166
20	1,106	0,765	1,311	1,166	1,224	1,110
15	1,043	0,732	1,254	1,085	1,167	1,053
10	0,980	0,714	1,187	1,026	1,111	0,997

Результаты экспериментов. Анализ зависимостей $f = \varphi(W)$ (рис.5) свидетельствует, что коэффициенты внешнего и внутреннего трения увеличиваются с ростом влажности. Это объясняется переходом упругого контакта к пластичному, при котором увеличивается механическое сопротивление относительному перемещению соприкасающихся поверхностей.



а) б)

Рис.5. Зависимость коэффициента внутреннего (*а)* и внешнего (*б*) трения *f* от влажности *W*, % белых кореньев

Путем математической обработки экспериментальных данных были получены зависимости коэффициентов внешнего и внутреннего трения по

стали от влажности белых кореньев (величина достоверности аппроксимации составила R^2=0,99).

Для пастернака:

$$f_{внеш.} = 0,0125\ W + 0,8547,\ f_{внутр} = 0,0142\ W + 0,5059; \quad (7)$$

для петрушки:

$$f_{внеш.} = 0,0135\ W + 1,0717,\ f_{внутр} = 0,0121W + 0,9132; \quad (8)$$

для сельдерея:

$$f_{внеш.} = 0,0112\ W + 0,9987,\ f_{внутр} = 0,0113\ W + 0,8832. \quad (9)$$

Полученные значения коэффициентов внутреннего и внешнего трения позволяют подобрать такой гидродинамический режим их перемешивания на перфорированной ленте, имеющей синусоидальную форму, который позволяет обеспечить равномерное перемешивание и минимизировать истирание продукта, что свидетельствует о повышении качества готовой продукции.

Примером такого гидродинамического режима является сушка продукта в сушилке с гибкой перфорированной лентой, имеющей форму «бегущей волны», причем во впадинах «бегущей волны» происходит пересыпание плотного слоя (рис. 6).

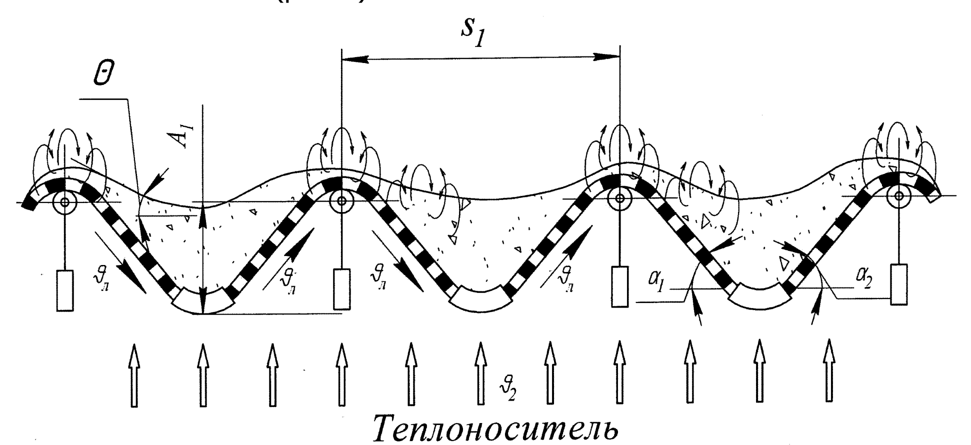


Рис.6. Расчетная схема сушки белых кореньев на гибкой перфорированной ленте, имеющей форму «бегущей волны»: A_1 – амплитуда «бегущей волны»; h – высота слоя продукта над гребнем «бегущей волны»; α_1 и α_2 – соответственно угол наклона переднего и заднего гребня «бегущей волны»; θ – угол естественного откоса продукта; S_1 – шаг «бегущей волны»; $\upsilon_л$ – скорость движения ленты; υ_1 – скорость движения теплоносителя

За счет его формы, близкой к синусоидальной, продукт распределяется с разной удельной нагрузкой, которая постепенно уменьшается в течение процесса сушки вследствие изменения влажности. При этом гибкая перфорированная лента начинает совершать волнообразные движения, заставляя продукт перемещаться вдоль него. Интенсификация процесса сушки обусловлена за счет непрерывного обновления поверхности зернистого продукта, контактирующего с теплоносителем, а также высоких коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи. Это связано с турбулизацией потока теплоносителя в слое продукта в результате соударений частиц при

перемещении и нарушением газовых прослоек, ликвидацией застойных зон.

Заключение. Рассмотренный способ сушки сыпучих продуктов позволяет достигнуть равномерной сушки вследствие использования мягких, щадящих режимов пересыпания при максимальном сохранении частиц обрабатываемого продукта и повысить качество готового продукта за счет использования пересыпающегося слоя, снижающего комкование высушиваемого продукта и предотвращающего образование агломератов дисперсного продукта.

Библиографический список

1. Авдеев Н.Е.Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов: теория и анализ конструкций / Н.Е. Авдеев и др. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – 637 с.

2. Остриков А.Н. Кинетика комбинированных режимов сушки кореньев пастернака / А.Н. Остриков, Ю.В. Складчикова // Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование и производство: мат. Междунар. науч.-практ. конф. / Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2008. – С. 292-293.

Материал поступил в редакцию 21.01.09.

A.N. OSTRIKOV, J.V. SKLADCHIKOVA

RESEARCH FRICTION PROPERTYES OF SEASONINGS

The received data by definition of dependences friction factors from humidity of parsley, parsnip and celery are used at substantiation of choice of rational hydrodynamical mode of the drying providing uniform mixing, maximum preservation of particles and intensification of their drying process.

ОСТРИКОВ Александр Николаевич (р. 1995), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» Воронежской государственной технологической академии, доктор технических наук (1993), профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации.
Научные интересы: процессы и аппараты пищевых производств.
Имеет свыше 600 научных публикаций.

СКЛАДЧИКОВА Юлия Владимировна, аспирантка кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» Воронежской государственной технологической академии.
Область научных интересов: процесс сушки пищевых продуктов.
Автор 5 научных публикаций.

skladchikova@mail.ru